

북향개방지수가 복잡지형의 일 최고기온 추정오차 저감에 미치는 영향

정유란¹ · 이광회² · 윤진일^{3*}

¹서울대학교 식물생산학부, ²상지대학교 친환경식물학부,

³경희대학교 생태시스템공학과

(2007년 6월 1일 접수; 2007년 9월 6일 수락)

Performance of Northern Exposure Index in Reducing Estimation Error for Daily Maximum Temperature over a Rugged Terrain

Uran Chung¹, Kwang-Hoe Lee² and Jin I. Yun^{3*}

¹Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

²Department of Agronomy and Horticulture, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

³Department of Ecosystem Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea

(Received June 1, 2007; Accepted September 6, 2007)

ABSTRACT

The normalized difference in incident solar energy between a target surface and a level surface (overheating index, OHI) is useful in eliminating estimation error of site-specific maximum temperature in complex terrain. Due to the complexity in its calculation, however, an empirical proxy variable called northern exposure index (NEI) which combines slope and aspect has been used to estimate OHI based on empirical relationships between the two. An experiment with real-world landscape and temperature data was carried out to evaluate performance of the NEI - derived OHI (N-OHI) in reduction of spatial interpolation error for daily maximum temperature compared with that by the original OHI. We collected daily maximum temperature data from 7 sites in a mountainous watershed with a 149 km² area and a 795m elevation range (651~1,445m) in Pyongchang, Kangwon province. Northern exposure index was calculated for the entire 166,050 grid cells constituting the watershed based on a 30-m digital elevation model. Daily OHI was calculated for the same watershed and regressed to the variation of NEI. The regression equations were used to estimate N-OHI for 15th of each month. Deviations in daily maximum temperature at 7 sites from those measured at the nearby synoptic station were calculated from June 2006 to February 2007 and regressed to the N-OHI. The same procedure was repeated with the original OHI values. The ratio sum of square errors contributable by the N-OHI were 0.46 (winter), 0.24 (fall), and 0.01 (summer), while those by the original OHI were 0.52, 0.37 and 0.15, respectively.

Key words : BioSIM, Overheating index, Northern exposure index, Daily maximum temperature, Geospatial interpolation

I. 서 론

주변 기상관서의 관측 혹은 예보값으로부터 복잡지형에서의 임의지점의 일 최고기온을 추정하는 방법으

로서 캐나다 산림청에서 개발한 BioSIM이 널리 쓰이고 있다. 원래 BioSIM은 지형특성이 이질적인 넓은 지역에서 기존의 각종 온도기반의 생태모형을 결합하여 경관규모에서의 생태과정 모의를 가능하게 해 주는

인터페이스 기능은 물론, 지도작성과 표출기능도 갖추고 있어 우리나라를 포함한 세계 여러 지역에서 경관 생태학 연구 및 산림병해충 방제프로그램에 성공적으로 이용되어 왔다(Reginere *et al.*, 1995; Regniere, 1996; Regniere and Logan, 1996; Regniere and Sharov, 1999).

BioSIM에서는 일 최고기온의 결정에 고도 외에 한 낮의 일사량이 매우 중요한 역할을 하는데 착안하여, 주어진 경사면의 오전 11시부터 오후 3시까지 4시간 동안의 일사량을 적산하여 인근 기상관측소의 수평면 일사량과 비교하고 그 편차를 정규화시킨 소위 과열지수(overheating index)에 따라 최고기온을 보정하게 된다(Regniere, 1996). 그러나 임의사면에 대해 매시 일사수광량을 계산하고 4시간 동안 일사량을 매일 적산하는 일이 쉽지 않기 때문에 BioSIM에서는 과열지수(overheating index) 대신 순수한 지형변수로서, 계산이 용이하고 한번 작성하면 연중 수정 없이 쓸 수 있는 개방지수(exposure index)를 이용한다. Regniere (1996)에 의하면 개방지수와 과열지수간 회귀식의 결정계수는 계절에 따라 0.75에서 0.91의 범위에 있으므로 이들 회귀식에 의해 추정된 과열지수를 일 최고기온 추정에 사용하여도 무방하다고 하였다.

한편, Chung *et al.*(2003)이 전라남도 순창군 동계면을 대상으로 개방지수와 과열지수를 계산하여 비교한 결과 회귀식의 결정계수가 0.44(동지)에서 0.56(하지)으로 Regniere(1996)가 얻은 결과보다 크게 낮았다. Regniere(1996)는 과열지수의 변이를 개방지수에 의해 설명할 수 있는 관계식을 얻기 위해 0-45도의 경사도와 0-360도의 경사향 범위에서 몇 개의 조합을 선정하고 이들 유한조합으로부터 과열지수와 개방지수를 계산하였다. 즉, 자연상태에서 나타날 수 있는 무한대의 조합 가운데 인위적으로 설정한 수백 개 정도만을 대상으로 한 실험이었다. 반면, Chung *et al.*(2003)은 57만 개의 자연상태 조합에 대해 동일한 계산을 수행하여 개방지수와 과열지수 사이의 관계를 설명하였는데, 얻어진 회귀식의 형태는 유사하였지만 전반적인 결정계수는 훨씬 낮았고, 특히 지형이 복잡해질수록 설명변수로서의 신뢰성이 낮아진다고 하였다.

따라서 우리나라와 같은 복잡지형에서 BioSIM을 실용화하기 위해서는 과열지수 대신 개방지수를 사용할 경우 일 최고기온 추정오차가 얼마나 증가하는지, 혹은 추정값의 신뢰도가 실용수준을 초과하는지 여부

를 반드시 확인해야 한다. 본 연구는 BioSIM에서 채택하고 있는 개방지수가 우리나라의 복잡한 산악지형에서 일 최고기온 추정에 적합한지 여부를 검토하며, 나아가 과열지수를 이용한 일 최고기온의 추정 정확도가 기존 개방지수에 비해 높은지를 알아보고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 일 최고기온 공간내삽모형

주어진 경사면에 대해 오전 11시부터 오후 3시까지 4시간 동안의 일사량을 적산하여 인근 기상관측소의 수평면 일사량과 비교하고 그 비율에 따라 기상관측소 최고기온을 보정하는 것이 BioSIM에서 채택한 일 최고기온 추정법이다. 이 때 흐린 날과 맑은 날의 영향 정도를 차별화하기 위해 당일의 기온일교차를 이용한다. 기존의 고도보정 추정에 의해 설명할 수 없는 나머지 오차(잔차, ϵ)가 이러한 일사수광량 효과에 의한 것이라고 가정하면 다음과 같이 표현된다(Regniere, 1996).

$$\epsilon = \nu \cdot R \cdot \Delta T_R \quad (1)$$

여기서 R 은 기온일교차, ΔT_R 은 수평면과 경사면간 일사량 편차에 의한 기온상승분의 상한값으로, 일교차 1°C당 기온으로 표현하면 산림군락에서 0.14라고 알려져 있다(Regniere, 1996). ν 는 과열지수로 불리며, 4시간 동안 수평면 일사수광량(ϕ_0)과 경사면 일사수광량(ϕ_1)간의 차이를 표준화한 것이다.

$$\nu = \frac{\phi_1 - \phi_0}{\Delta \phi_{\max}} \quad (2)$$

이 식에서 분모는 북반구에서 관측되는 수평면과 경사면간의 오후 4시간 동안 일사량 수광편차 가운데 최대값(15 MJ m⁻²)으로서, Regniere(1996)에 의하면 3월 중 북위 78도에서 남동쪽으로 45° 경사진 사면에서 나타난다. 이 식에 의해 계산된 과열지수는 최대값이 1.0이며, 최소값은 북위 64°에서 북쪽으로 45° 경사진 지면에서 7월 중에 관측되며 그 값은 -1.935이다.

그러나 매일 4시간 동안의 일사량을 적산하는 일이 번거롭기 때문에 BioSIM에서는 과열지수를 직접 계산하는 대신 순수한 지형변수로서 계산이 용이하고 한번

작성되면 연중 수정 없이 사용할 수 있는 북향개방지수(λ)를 이용하여 간접적으로 추정한다.

$$\lambda = a[c \cdot \cos^2 \phi + \sin^2 \phi \cos(b-15)] \quad (3)$$

여기서 ϕ 는 사면의 위도, a 는 사면경사도, b 는 사면경사향이다. c 는 1 혹은 -1의 값을 갖는데, b 가 135도보다 크고 255도보다 작을 경우만 -1이며, 다른 경우에는 1이다. 경사향 b 에서 15를 빼는 것은 과열지수 계산할 때 13:00(정오로부터 15°)을 중심으로 11:00-15:00 시간대의 일사량을 적산하는 것을 감안한 것이다. 어떤 지점에 이 식을 적용하여 계산된 개방지수 값이 0보다 크면 이 지점은 대체로 북향으로 많이 열려 있고, 0보다 작으면 남향으로 열려 있다고 생각할 수 있다.

어떤 사면의 북향개방지수가 일단 결정되면 BioSIM에서는 이 값을 만들 수 있는 경사도와 남향으로만 열려 있는($c = -1$) 경사향 조합 8개 ($135 < b \leq 255$)를 선별하여 각각의 과열지수를 계산하고 이들을 산술평균한 다음, 과열지수 정의식(식 2) 대신 이 값을 식 (1)에 대입하여 일 최고기온을 추정하게 된다.

2.2. 모델 적용

2.2.1. 시험유역

연구대상지역은 한국수자원공사에서 분류한 수문단위(Hydrologic Unit, HU)에 따르면 도암댐 소유역(HU 100105, 37.78도, 128.77도)에 해당하며, 행정구역상으로는 강원도 평창군 도암면 전체와 진부면 일부에 걸쳐 있다. 유역면적은 149 km²이며 유역 내 최고점 표고는 1,445m이고 최저점 표고는 651m로서 표고차가 794m인 전형적인 북잡지형이다(Fig. 1). 또한 도암댐 전체면적에 대해 논과 밭이 16%와 1%, 초지와 산림은 5%와 72%로 농경지보다는 산지가 많다. 토성(soil texture)은 대부분 사양질 내지 식양질(57%)이며 도암면 남부산림지역에는 암석노출지(24%)가 넓게 분포하고 있다. 이 지역의 기상자료는 대관령기상대(37.68도, 128.76도, 노장표고 해발 844m)로부터 얻을 수 있다.

이 지역의 30m 해상도 수치고도모형(digital elevation model, DEM)을 환경부 환경지리정보서비스로부터 입수하여 시험유역 166,050개 격자점의 경사도, 경사향을 계산하였다. 이를 토대로 모든 격자점에 대해 식

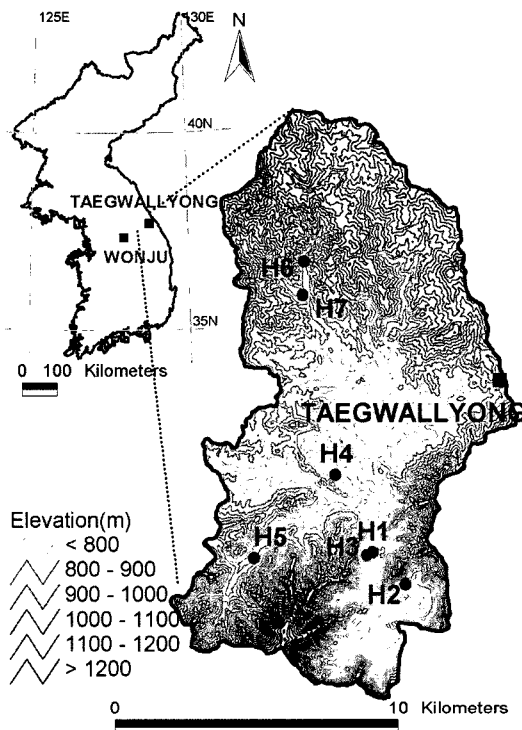


Fig. 1. Location map of the study area with the sites of 7 HOBO station (circle) and 1 synoptic station (rectangle).

(3)에 의해 북향개방지수(northern exposure index, NEI)를 계산하였고, 식 (2)를 이용하여 1월 1일부터 12월 31일까지 일별 과열지수 양상을 계산하였다. 계산된 과열지수들 가운데 계절별로 대표값(추분, 동지, 하지)을 발췌하여 개방지수와의 관계를 회귀모형으로 표현하였다.

2.2.2. 기온측정과 자료수집

사면방위각(경사향) 주제도에서 인근 대관령기상대와 비슷한 고도(해발 844m)에 경사방향이 서로 다른 7개 지점을 선정하여 온도계를 설치하고 2006년 6월부터 2007년 2월까지 여름, 가을, 겨울 기간의 기온을 10분 간격으로 측정하였다. 매일 기록된 144개 자료 가운데 가장 높은 값을 해당 날짜의 최고기온으로 삼았다. 사용된 온도계는 로거 일체형 써미스터(Model HOBO H8 Pro 및 BoxCar 4.0, Onset Computer Corporation, U.S.A.)로서 제작사의 사양에 의하면 측정오차가 -30°C에서 +50°C범위에서 ±0.5°C이며, 상온에서의 정확도는 ±0.2°C이다. 관측지점의 위치좌표는 위성측위계(Model GeoExplorer III 및 Pathfinder

2.80, Trimble Inc., U.S.A.)에 의해 측정하고, 기준국의 보정값(강원도 원주)으로 후처리하여 정확한 위치좌표를 준비하였다.

2.2.3. 분석

인근 대관령기상대의 실측 기상자료를 근거로 전운량 4이상이거나 강수가 있었던 날을 제외한 모든 날짜의 일 최고기온자료를 수집하였다. 이 실측 기온자료와 7개 기온관측지점 간 편차를 계산하여 각 지점의 일 최고기온 추정오차로 삼았다. 미리 만들어진 개방지수 주제도로부터 7개 기온관측지점에 해당하는 격자점의 개방지수를 추출하고 먼저 만들어 둔 계절별 과열지수-개방지수 회귀식에 대입하여 과열지수를 추정하였다. 7개 지점의 일 최고기온 추정오차를 종속변수, 개방지수로부터 추정된 과열지수를 독립변수로 둔 회귀분석을 실시하였다. 비교를 위해 미리 만들어 둔 과열지수 주제도로부터 7개 지점의 과열지수값을 추출하고 이것을 독립변수로 두고 일 최고기온 추정오차를 종속변수로 둔 회귀분석을 실시하였다.

III. 결 과

3.1. 개방지수와 과열지수 간의 관계

시험구역의 지형특성을 사방 30m 크기의 정방형 격자점으로 표현할 경우 총 166,050개의 격자점 가운데 평지(경사도 10° 미만)는 46,423개로서 전체의 28%에 불과하며 나머지는 경사도 최대값이 49°에 달하는 산악지형임을 알 수 있다. 시험구역 내 북향계열(북동, 북, 북서)의 경사향을 가진 격자점의 수가 48%

Table 1. Spatial statistics of "overheating index" calculated for 166,050 grid cells with a 30m spacing in the study area (Doam Hydrologic Unit) on summer solstice, fall equinox, and winter solstice, respectively. Also shown are the "exposure index" related statistics in the same area.

Statistics	Exposure Index	Overheating Index		
		22 June	21 Sept.	22 Dec.
Minimum	-47	-0.93	-0.70	-0.37
Maximum	49	0.08	0.23	0.32
Mean	6	-0.43	-0.29	-0.11
S.D.†	18	0.38	0.33	0.20

†Standard deviation

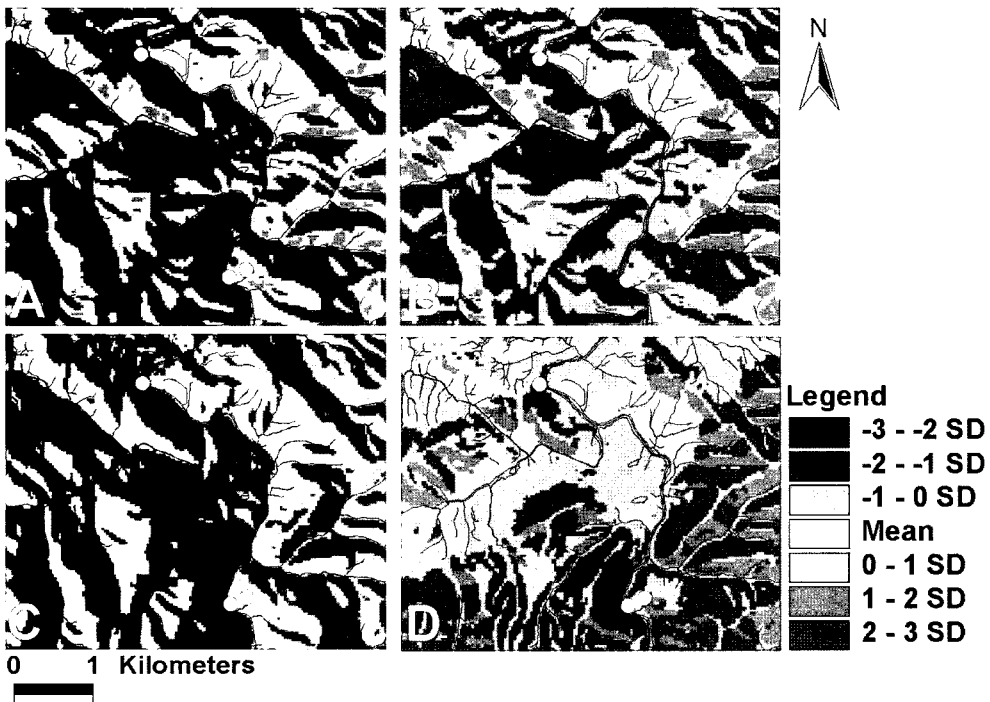


Fig. 2. A portion of the study area showing the spatial distribution of overheating index for fall equinox (A), summer solstice (B), and winter solstice (C). The northern exposure index (D) is also shown for comparison. Classification by standard deviation was applied to all cases.

(34%)에 비해 약간 많았다. 경사향의 특성은 개방지수와 밀접한 관련이 있는데, 계산 결과 시험구역의 개방

지수값은 평균 5.91, 표준편차 17.52, 최고 48.84, 최저 -47.27을 보였다. 개방지수가 0보다 크다는 것은 이 지역의 사면방향이 평균적으로 봤을 때 남향보다는 북향으로 더 많이 열려있다는 뜻이다. 실제로 개방지수가 0보다 높은 지역이 65%, 0보다 낮은 지역이 35%로서 사면방향의 분포와 흡사하였다. 반면, 계산된 과열지수의 분포는 계절별로 차이가 있어 0보다 큰 격자점, 즉 대체로 남향으로 열린 면적이 하지 27%, 추분 35%, 동지 40% 순으로 증가하였다(Table 1). 분포 양상 역시 계절별 과열지수는 개방지수와 상당한 차이를 보였다(Fig. 2).

Fig. 3은 날짜별로 얻은 과열지수와 개방지수 간의 관계를 보여주는데 모든 회귀계수(기울기 값)는 99% 수준에서 통계적 유의성이 인정되었지만, 회귀식의 결정계수 범위가 0.38~0.66으로 Regniere(1996)의 보고에 비해 전반적으로 낮은 수치를 보였다. 태양고도가 높을수록 회귀식의 기울기와 결정계수값이 모두 낮아지는 경향이 나타났다. 특히 개방지수값이 0으로부터 멀어질수록, 즉 경사도가 급해질수록 둘 사이의 관계는 더욱 모호해져서 개방지수로부터 과열지수를 추정하는 일 자체가 무의미해진다.

3.2. 기온추정오차의 해석

기온 관측점 7개의 지형특성은 Table 2와 같다. 모든 지점의 해발고도는 721~839m 범위로 인근 대관령 기상대의 표고 844m와 최대 123m의 차이가 있으며 경사도의 범위는 2~28도, 경사방향은 남서계열에서 북동계열로 다양하다. 개방지수로 표현할 경우 3지점(H1, H2, H3)은 음수, 4지점(H4, H5, H6, H7)은 양수이다. 춘추분과 동지의 과열지수를 계산하면 북향 개방지수와 마찬가지로 남향 계열의 관측점과 북향 계열의 관측점은 서로 반대 부호를 갖는다. 그러나 하지의 경우 남향인 H2에서 그 값이 0에 가깝기는 하나 북향계열과 같은 부호를 보인다. 태양고도의 변화에 따른 과열지수 반응은 경사향에 따라 다른데, 대체로 남향사면에서는 과열지수 절대값이 줄어들고 북향사면에서는 늘어난다. 남서향 사면은 평지에 비해 오후시간대 일사수광량이 증가하는데 여름에는 겨울에 비해 증가경향이 뚜렷하지 못하다. 북동향 사면에서는 반대로 평지에 비해 일사수광량이 작아지는데, 여름에 그 감소비율이 겨울보다 크다는 의미이다. 이러한 예측결과를 현실에 적용해보면, 만약 어떤 지역에서 북향사

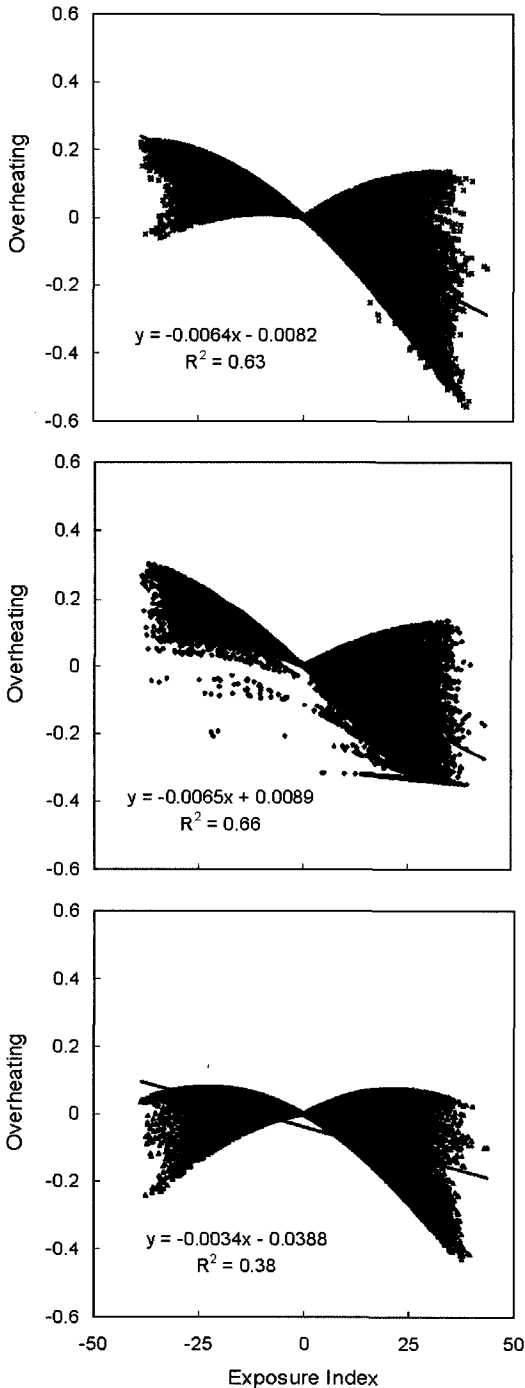


Fig. 3. Relationship between the exposure index and the overheating index calculated for 166,050 grid cells on fall equinox (top), winter solstice (middle), and summer solstice (bottom).

Table 2. Spatial statistics of “overheating index” calculated for sites on summer solstice, fall equinox, and winter solstice, respectively in the study area

Site	Overheating Index			Exposure Index	Slope (°C)	Aspect (°C)	Elevation (m)
	22 June	21 Sep.	22 Dec.				
H1	0.08	0.18	0.19	-24	23	232	775
H2	-0.01	0.13	0.19	-21	21	176	796
H3	0.07	0.17	0.18	-20	20	222	721
H4	-0.92	-0.69	-0.33	28	28	67	727
H5	-0.50	-0.56	-0.32	10	10	326	805
H6	-0.93	-0.68	-0.32	2	2	82	839
H7	-0.92	-0.68	-0.32	7	7	11	820

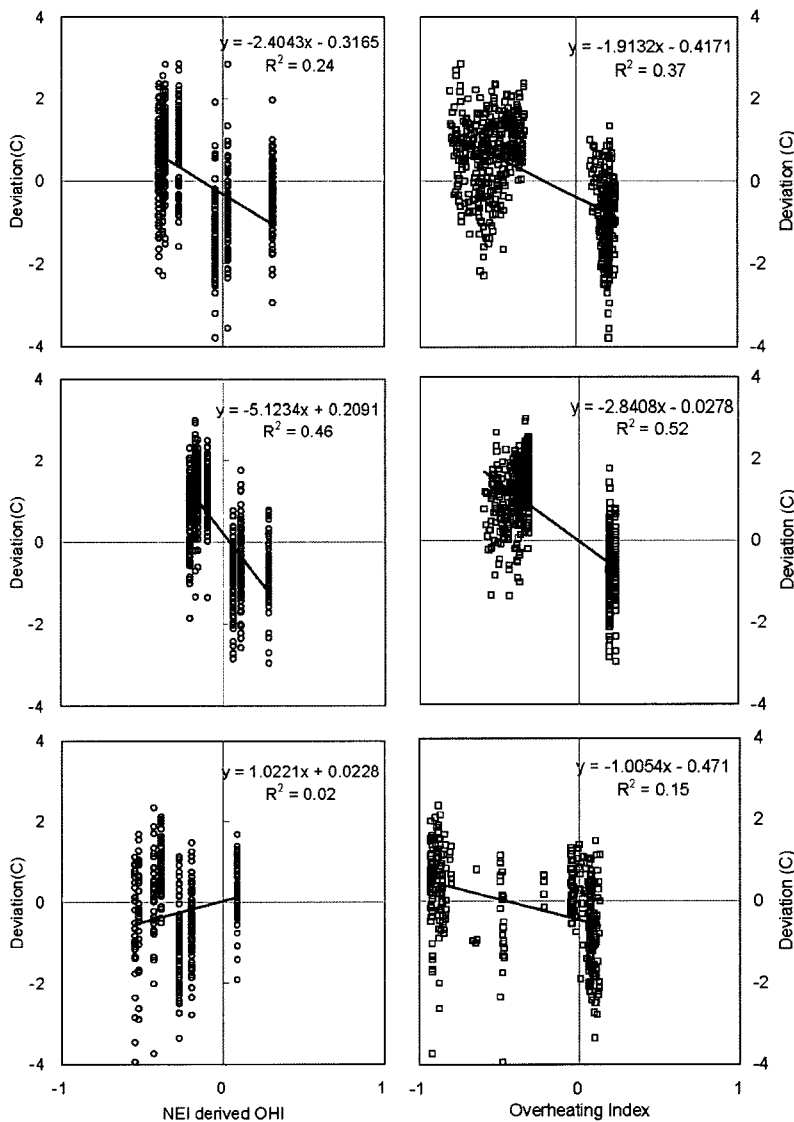


Fig. 4. Contribution of the overheating index (OHI) to the error variance of daily maximum temperature estimation (right panel). The conventional alternative (NEI derived OHI) shows less contribution to error variance (left panel). Data were prepared for September 22 (top), December 22 (middle), and June 22 (bottom).

면과 남향사면이 고루 분포하고 있다면 계절과 무관하게 일 최고기온의 지역평균은 유사고도면의 평야지에 비해 낮아질 것이다. 나아가 여름철의 냉각정도가 겨울철에 비해 훨씬 크므로 일 최저기온이 변하지 않는다면 결과적으로 산악지역의 연중 기온교차가 평야지에 비해 줄어들 수 있음을 보여준다.

기온관측지점 7곳의 일 최고기온과 시험구역 내 기상관서(대관령기상대)에서 관측된 일 최고기온 사이에는 상당한 차이가 있는데, 당초 예상대로 남향사면의 관측지점에서는 대관령기상대에 비해 더 높은 기온이 기록되었고, 북향사면에서는 더 낮은 기온이 관측되었다. 대관령기상대의 관측기온을 7개 기온관측지점의 추정값으로 간주하면 이들 편차는 추정오차가 되며, 관측기간 중 -4°C (과소추정)에서 $+3^{\circ}\text{C}$ (과다추정)의 큰 변동폭을 보인다. 7개 지점의 해발고도는 대관령기상대와 큰 차이가 없기 때문에 이 추정오차는 고도차 이외의 요인들, 특히 표준화되지 못한 관측여건에 의해 발생하였다고 짐작할 수 있다. 이들 가운데 관측지점의 경사향과 경사도가 차지하는 비중이 과열지수 혹은 개방지수에 의해 정량적으로 표현될 수 있다.

이 추정오차를 종속변수로, 각 지점의 과열지수를 설명변수로 둔 회귀분석을 실시한 결과 추정오차의 분산 가운데 과열지수만으로 설명할 수 있는 부분, 즉 회귀식의 결정계수가 8월의 0.07에서 11월의 0.65까지 다양하였다. 여름철 낮 시간에는 태양고도가 높기 때문에 웬만한 지형에서는 과열지수의 공간변이가 평야지에 비해 뚜렷하지 않다. 따라서 여름철 일 최고기온에 미치는 과열지수 혹은 개방지수의 영향은 다른 계절에 비해 훨씬 작을 것이다. 점차 태양고도가 높아지면 지형의 영향이 일 최고기온에 반영되기 시작할 것이며 특히 남서향의 비교적 급한 경사면에서 과열지수가 급격히 커져서 평야지에 비해 훨씬 높은 일 최고기온이 기록될 것이다. 반면 북동사면은 음의 방향으로 과열지수가 커지면서 평야지에 비해 낮은 일 최고기온이 예상된다. 이로부터 과열지수가 오차분산에서 차지하는 계절별 상대비중을 어느 정도 예측할 수 있는데, 본 실험에서 얻은 계절별 평균 결정계수 역시 겨울(11, 12, 1월)에 0.52, 가을(9, 10월)에 0.37, 여름(6, 7, 8월)에 0.15로 낮아진다(Fig. 4). 과열지수 대신 각 지점의 개방지수를 설명변수로 둔 회귀분석을 실시할 경우 추정오차의 분산 가운데 개방지수로 설명할 수 있는 부분이 겨울(11, 12, 1월)에 0.46, 가을(9,

10월)에 0.24로 줄어들며, 여름철 일 최고기온의 변이를 설명하는 데는 개방지수가 전혀 효과가 없음을 보여준다. 즉 과열지수를 개방지수로 대체함으로써 예상되는 오차분산의 설명력 저하는 여름철을 제외하더라도 계절에 따라 12%(겨울)에서 35%(가을)에 이른다.

IV. 고 찰

BioSIM에서 일 최고기온 추정법으로 채택한 개방지수 보정모형을 전형적인 산지경관의 표준구역인 강원도 평창군 소재 도암댐 구역에 적용한 결과 과열지수 보정에 비해 신뢰도가 떨어진다는 것을 확인하였다. 복잡지형에서의 과열지수 계산은 공간정보기술의 발달과 함께 점점 쉬워지고 있으므로 개방지수를 매개로 하는 기존의 간접추정법을 사용할 필요가 없다.

임의 사면의 정확한 과열지수 계산이 가능하더라도 이를 일 최고기온 변화에 제대로 반영시키지 못한다면 결과적으로 개방지수를 사용한 것에 비해 정확도의 개선을 기대할 수 없다. 이번 실험에서 과열지수에 의해 설명 가능한 오차분산 비율이 월별로 0.07에서 0.65 정도로 낮은 이유는, 우선 자료선정의 기준이 단지 '전운량 4 이하인 날 얻어진 모든 자료'로서 맑은 날과 흐린 날에 대한 기준이 모호하였을 뿐 아니라, 바람, 대기습도, 일사 등 다른 기상요소를 고려하지 않은 점을 들 수 있다. 실제로 BioSIM에서는 하늘상태의 영향을 정량화하기 위해 일교차를 이용한다(식 1).

나아가 국지기온에 큰 영향을 미치는 지표피복을 이 실험에서는 전혀 고려하지 않았다. 같은 과열지수라 할지라도 지표피복에 따라 기온에 전달되는 효과는 크게 다를 것으로 추정된다. 당초 산림생태계 모형으로 출발한 BioSIM의 경우 지표피복의 영향을 캐나다 산림지대에서 얻은 변환계수(일교차 1°C 당 0.14°C , Regniere, 1996)로 표현하고 있다. 초지, 논, 밭, 관목 등 식생피복의 종류에 따라 이 변환계수는 달라져야 하며 지표피복별 야외실험이 반드시 선행되어야 한다. 덧붙여 같은 식생피복일지라도 엽면적지수, 토양수분 상태 등에 따른 변화도 구명해야 비로소 일 최고기온 추정모형의 실용화가 가능할 것이다.

적 요

수평면과 경사면간의 일사수광량 편차의 정규화변량

인 과열지수는 산악지형에서 일 최고기온 추정오차를 줄이는데 효과가 있다고 알려져 있다. 하지만 계산의 복잡성 때문에 경사도와 경사방향에 근거한 매개변량인 개방지수를 먼저 계산하고 이를 이용하여 과열지수를 간접적으로 추정하는 방법이 널리 쓰이고 있다. 이러한 개방지수 매개 간접추정법이 우리나라와 같이 복잡한 산악지형에서 일 최고기온 추정에 적합한지를 알아보기 위해 강원도 평창군에 위치한 도암댐 표준유역(면적 149 km², 표고범위 651~1,445m)을 대상으로 야외실험을 실시하였다. 이 지역의 30m 해상도 수치 고도모형으로부터 시험유역의 166,050개 격자점의 개방지수와 과열지수를 계산하였다. 이들 간의 관계를 계절별 최적 회귀모형으로 나타내고 이로부터 매월 15일의 과열지수를 개방지수로부터 추정하였다. 인근 대관령기상대와 비슷한 고도(해발 844m)에 경사방향으로서 다른 7개 지점을 선정하여 온도계를 설치하고 2006년 6월부터 2007년 2월까지의 기온을 10분 간격으로 측정하였다. 추정오차를 종속변수로, 각 지점의 추정 과열지수를 설명변수로 둔 회귀분석을 실시한 결과 결정계수가 겨울 0.46, 가을 0.24, 여름 0.02로서 직접 계산된 과열지수를 설명변수로 하는 경우(겨울 0.52, 가을 0.37, 여름 0.15)에 비해 신뢰도가 떨어진다는 것을 확인하였다.

감사의 글

이 연구는 2007년 기상지진기술개발사업(CATER

2006-4502) 지원에 의해 수행되었습니다. 논문의 품위를 크게 높여주신 심사위원 두 분에게 깊이 감사드립니다.

REFERENCES

- Chung, U., B. S. Hwang, H. H. Seo, and J. I. Yun, 2003: Relationship between exposure index and overheating index in complex terrain. *Korean Journal Agricultural and Forest Meteorology* 5(3), 200-207. (in Korean with English abstract)
- Regniere, J., D. Lavigne, R. Dichison, and A. Staples, 1995: *Performance Analysis of BioSIM, a Seasonal Pest Management Planning Tool, in New Brunswick in 1992 and 1993*. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service Info. Rep. LAU-X-115. 28pp.
- Regniere, J., 1996: A generalized approach to landscape-wide seasonal forecasting with temperature-driven simulation models. *Environmental Entomology* 25, 869-881.
- Regniere, J., and J. A. Logan, 1996: Landscape-wide projection of temperature-driven processes for seasonal pest management decision support: a generalized approach. *Decision Support Systems for Forest Management*, T. L. Shore, and D. A. MacLean (Eds.) *Proceedings of a Workshop at the Joint Meeting of the Entomological Societies of Canada and British Columbia*, Victoria, BC, Canada, Oct. 17, 1995, 43-55.
- Regniere, J., and A. Sharov, 1999: Simulating temperature dependent ecological processes at the sub-continental scale : male gypsy moth flight phenology as an example. *International Journal of Biometeorology* 42, 146-152.